



## KARAKTERISASI LAJU PENGERINGAN GABAH DENGAN ALIRAN KONVEKSI PAKSA

Sutrisno<sup>1)</sup> dan Suhanan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada

### ABSTRACT

*After harvesting technology was an important knowledge for Indonesian rice farmer. In the raining season especially, the paddy has to be dried within 6 days, or the paddy has to be sold for very cheap price. In order to solve the problem, a new drying technology has to be developed, utilizing direct contact method. The study has been conducted partially, by experimentally characterizing heat and mass transfer process for paddy drying implementing forced convection.*

*In this paddy drying study employing electrical heater, it could be shown that the drying rate of the paddy was affected by the flow velocity, temperature difference and the layer thickness. The equation of the drying rate had also been derived. The rate was not only affected by those variables but also by the vertical distance between the paddy layers. It was suspected that the drying process was categorized as drying process with constant rate in slightly turbulent flow.*

### PENDAHULUAN

Beras merupakan bahan pangan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Sebagai bahan pangan, beras merupakan sumber karbohidrat utama yang selalu mendapatkan perhatian serius dalam proses pembangunan. Pembangunan pertanian yang dilakukan sampai tahun 1980-an telah mengalami keberhasilan-keberhasilan yang berarti sehingga pada tahun 1984 Indonesia telah mampu berswasembada pangan (beras). Namun demikian karena kebutuhan beras untuk konsumsi dalam negeri selalu meningkat, sementara produksinya berfluktuasi dan tidak dapat mengimbangi kebutuhan penduduk, predikat swasembada tersebut akhir-akhir ini tak dapat dipertahankan lagi, sehingga impor beras dari luar negeri tak terelakkan lagi. Berbagai usaha terus dilakukan untuk meningkatkan produksi beras dalam rangka menekan impor dan memulihkan swasembada pangan ini.

Salah satu masalah lain yang perlu mendapatkan perhatian dalam produksi beras adalah, bahwa saat ini penanganan pasca panen

yang dilakukan oleh petani masih kurang memadai sehingga tingkat kerusakan atau kehilangan pasca panen sangat tinggi. Diperkirakan tingkat kehilangan pasca panen hasil pertanian ini mencapai sekitar 20 % dari total produksi. Dengan demikian kiranya merupakan hal yang sangat mendesak untuk melakukan usaha-usaha peningkatan pengetahuan dan cara-cara serta peningkatan fasilitas-fasilitas penanganan pasca panen hasil pertanian tersebut dalam rangka mengatasi masalah ini.

Pada umumnya padi setelah dipanen, dilakukan proses perontokan, kemudian gabah hasil perontokan tersebut segera dikeringkan sampai cukup kering yaitu dengan kadar air 14% atau di bawahnya (Araullo, 1976). Pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan sinar matahari ataupun dengan alat pengering buatan (*artificial drier*). Setelah kering, gabah dilakukan penyimpanan atau setelah beberapa saat kemudian dilakukan penggilingan untuk dijadikan beras.

Gabah hasil perontokan masih mempunyai kandungan air tinggi. Kadar air yang tinggi ini akan

memudahkan gabah terserang jamur dan mikroorganisme lain. Di samping itu karena merupakan benda hidup meskipun telah dipetik dari tanamannya, padi atau gabah masih mengalami proses-proses fisiologis terutama respirasi. Selama respirasi tumpukan gabah akan menghasilkan uap air serta energi dalam bentuk panas, hal ini akan menambah cepat terjadinya kerusakan gabah. Laju respirasi ini dapat dipengaruhi oleh kadar air, makin rendah kadar air makin rendah juga laju respirasinya. Dengan demikian cara untuk mengawetkan gabah dalam penyimpanan adalah dengan menurunkan kadar airnya, dengan pengeringan. Kadar air gabah setelah panen adalah sekitar 20-26%, dan kadar air gabah yang aman disimpan adalah 14%. Apabila akan disimpan lebih dari enam bulan maka kadar air gabah tersebut harus diturunkan menjadi 13% (Araullo, 1976). Dengan demikian, salah satu tahap pengolahan padi yang sangat kritis adalah tahap pengeringan gabah. Pengeringan merupakan metode utama meningkatkan keawetan selama penyimpanan (Kunze & Calderwood, 1994). Apabila setelah dilakukan perontokan tidak segera dapat dikeringkan, maka gabah tidak akan tahan disimpan. Di tingkat petani produsen di Indonesia pengeringan umumnya dilakukan dengan penjemuran memanfaatkan panas sinar matahari. Pada waktu cuaca buruk, maka hal ini akan menjadi masalah bila tidak mempunyai fasilitas pengering lain. Di samping gabah tidak tahan simpan, apabila dijual maka harganya pun sangat rendah. Hal ini akan menyulitkan petani dalam meningkatkan kesejahteraan hidupnya. Dengan demikian fasilitas pengering buatan yang handal, murah, efisien, mudah dibuat dan menggunakan bahan-bahan yang tersedia perlu dikembangkan dalam rangka mendukung usaha-usaha peningkatan kesejahteraan petani.

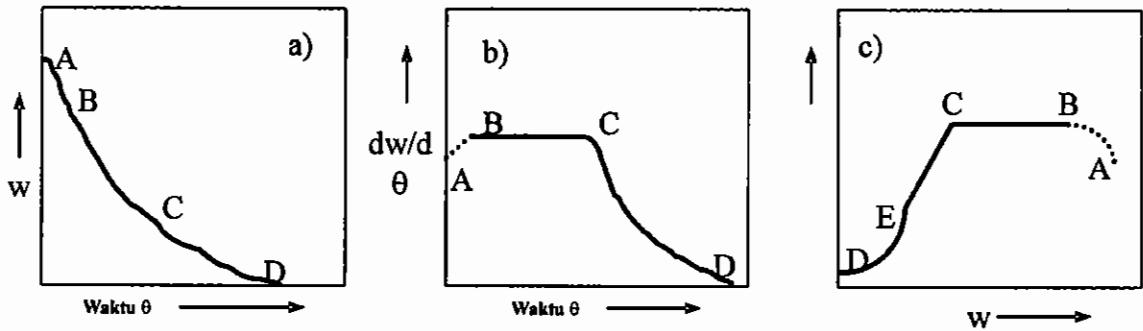
Pengeringan dengan menggunakan pengering buatan (*artificial drier*) mempunyai beberapa kelebihan dibanding pengeringan dengan sinar matahari antara lain waktu pengeringan lebih pendek, tidak tergantung cuaca, lebih mudah dikendalikan, terhindar dari gangguan hewan pengganggu, dan pengeringan dapat dijadwal. Pada umumnya sistem pengering menggunakan metode pemanasan udara pengering, terdiri atas penghembus (*blower*) udara panas yang akan melewati tumpukan gabah, alat penahan atau tempat menaruh gabah yang dikeringkan, sistem pemasukan dan pengeluaran gabah yang akan dan

sudah dikeringkan. Adapun berdasarkan pada metode transfer panasnya, pemanas dapat dibagi dua macam yaitu pemanas langsung dan pemanas tak langsung. Pada pemanas langsung produk pembakaran dipaksa melewati bahan (gabah) bersama udara pemanas. Pada pemanas tak langsung permukaan *heat transfer* dipanaskan dan udara yang digunakan untuk mengeringkan disirkulasikan sekitar bagian luar permukaan *heat transfer* dan kemudian melalui bahan. Pengering dengan pemanasan tak-langsung banyak dimiliki oleh tengkulak beras. Memang sistemnya kompak dan efisien tetapi harganya sangat mahal dan membutuhkan daya listrik yang sangat besar, sehingga petani dan bahkan KUD kecil pun jarang yang siap dengan kesediaan fasilitas listrik dan mampu menanggung biaya operasionalnya.

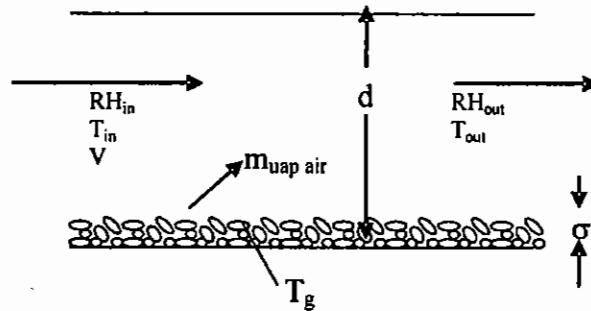
Dalam penelitian ini dikaji sistem pengering kontak langsung dengan gas asap pembakaran limbah, yang diduga akan sangat bermanfaat bagi petani kecil dan jarang mendapatkan perhatian para peneliti. Dalam tahap ini dipelajari karakteristik pengeringan gabah dalam bentuk lapisan-lapisan tersusun atas-bawah, sedangkan pada ruang di antara lapisan mengalir udara panas yang berfungsi untuk memanaskan dan sekaligus mengeringkan kandungan uap air dalam gabah. Untuk keperluan penelitian ini dikembangkan teori pengeringan dari teori klasik dengan memodifikasi definisi bilangan Reynolds disesuaikan dengan konfigurasi yang ada. Didapatkan formula laju perubahan *moisture content*. Dengan formula-formula tersebut dilakukan eksperimen pengeringan untuk meninjau karakteristik pengeringan gabah dengan konveksi paksa dalam konfigurasi ini.

## TEORI PENGERINGAN GABAH

Pada proses pengeringan suatu benda (Lydersen, 1983 dan Porter dkk., 1992), seperti digambarkan pada Gambar 1a dan b, perubahan *moisture content*  $w$  dan laju perubahan *moisture content*  $dw/dq$  terhadap waktu  $q$ , terbagi dalam 3 daerah, yaitu daerah *warming-up* A-B, daerah laju perubahan *moisture content* atau laju pengeringan  $dw/dq$  konstan B-C dan daerah laju pengeringan  $dw/dq$  melemah atau daerah *falling rate* C-D. Daerah A-C dikenal juga sebagai daerah *evaporation of saturated solid*, yang pada daerah B-C luasan permukaan jenuhnya mulai berkurang secara gradual. Sedangkan pada daerah C-D, permukaan yang terbuka keluar sudah tidak jenuh lagi sehingga



Gambar 1 Periode-periode pengeringan pada gabah, digambarkan dalam 3 kurva hubungan. a) Penurunan *moisture content*, b) laju penurunan *moisture content*, dan c) kurva ketergantungan laju penurunan *moisture content* terhadap besar *moisture content*.



Gambar 2 Konfigurasi pengeringan gabah pada celah diantara 2 layer.

evaporasi terjadi di interior saja dan periode ini dikenal sebagai periode *evaporation of the interior*.

#### a. Daerah Laju Pengeringan Konstan (B-C)

Pada daerah laju pengeringan konstan, gerakan dari *internal moisture* cukup cepat sehingga mampu mempertahankan permukaan tetap jenuh. Dengan demikian laju energi untuk perpindahan panas sama dengan laju energi untuk pengeringan. Oleh karena itu permukaan jenuh ini tidak dipengaruhi oleh sifat alami dari benda, dan akibatnya temperatur permukaan dianggap sama dengan *wet-bulb temperature*. Laju pengeringan kemudian dinyatakan sebagai

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{h_t}{\rho_s \lambda} a(t - t_s') ; a = \frac{A}{Vol} = \frac{1}{\sigma} \quad (1)$$

Dalam hal ini  $h_t$  adalah *total heat transfer coefficient* ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ),  $\rho_s$  adalah *bulk density of dry material* ( $kg/m^3$ ),  $\lambda$  adalah *latent heat of evaporation* ( $J/kg$ ),  $t$  dan  $t_s'$  adalah *dry-bulb temperature* dan temperatur permukaan.

Konfigurasi proses pengeringan dalam studi ini agak berbeda dengan konfigurasi pengeringan umumnya, terutama dalam pendefinisian bilangan Reynolds. Konfigurasi pengeringan gabah digambarkan dalam Gambar 2. Dalam hal ini bilangan Reynolds dinyatakan sebagai  $R_{ed} = V \cdot d / \nu$ .

$$Nu = \frac{h_t d}{k_f} = \varepsilon R_{ed}^{3/4} ; h_t = \varepsilon \frac{k_f}{d} R_{ed}^{3/4} \quad (2)$$

dengan demikian laju pengeringan  $dw/d$  dapat ditampilkan sebagai

$$\frac{dw}{d\theta} = \varepsilon \frac{k_f}{\rho_s \lambda \nu^{3/4}} \frac{V^{3/4}}{\sigma d^{1/4}} (t - t_s') = \alpha \frac{V^{3/4}}{\sigma d^{1/4}} (t - t_s') \quad (3)$$

yang menyatakan bahwa laju pengeringan  $dw/d\theta$  tergantung pada kecepatan  $V$ , beda temperatur antara *dry-bulb*  $t$  dengan *wet-bulb temperature*  $t'_s$ , tebal lapisan  $\sigma$  dan jarak  $d$  antara layer pengeringan dengan dinding atasnya.

Untuk pengeringan dengan menggunakan aliran laminar, bilangan Nusselt  $Nu$  konstan, sehingga laju pengeringan  $dw/d\theta$  dapat ditampilkan dalam bentuk

$$\frac{dw}{d\theta} = \varepsilon \frac{k_f}{\rho_s \lambda} \frac{(t - t'_s)}{\sigma d} = \beta \frac{(t - t'_s)}{\sigma d} \quad (4)$$

yang menyatakan bahwa laju pengeringan  $dw/d\theta$  ternyata hanya tergantung pada beda temperatur antara *dry-bulb*  $t$  dengan *wet-bulb temperature*  $t'_s$ , tebal lapisan  $\sigma$  dan jarak antar layer  $d$ .

#### b. Daerah Laju Pengeringan Melemah (C-D)

Pada daerah laju pengeringan melemah, permukaan yang terbuka tidak jenuh lagi, oleh sebab itu laju pengeringan tidak tergantung oleh besaran-besaran heat-transfer luar, tetapi hanya dikendalikan oleh evaporasi internal saja. Dalam Gambar 1c nampak jelas hubungan yang hampir linier antara laju pengeringan  $dw/d\theta$  dengan *moisture content*  $w$  atau *linearly falling drying rate*, sehingga dapatlah dikatakan bahwa

$$-\frac{1}{w} \frac{dw}{d\theta} = \gamma = \text{konstan} \quad \text{atau} \quad w = w_o \exp(-\gamma\theta) \quad (5)$$

yang memberikan laju pengeringan eksponensial.

Untuk pengeringan yang didominasi oleh *liquid diffusion*, perubahan *moisture content*  $w$  dinyatakan sebagai

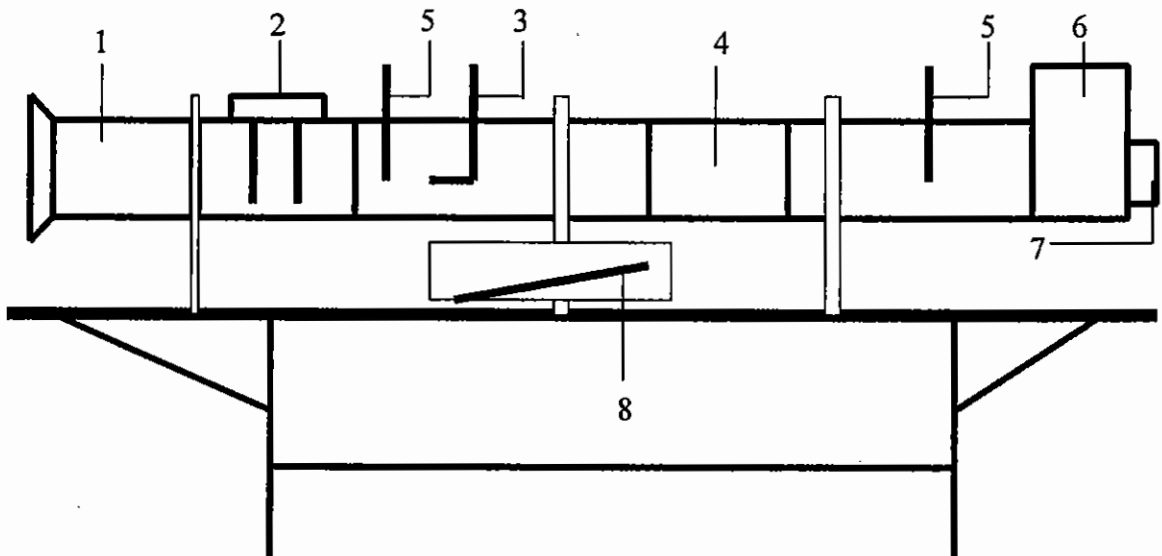
$$\frac{w - w_e}{w_o - w_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_1}{4d_o} \theta\right) \quad (6)$$

Sedangkan untuk pengeringan yang didominasi oleh proses kapiler, perubahan *moisture content*  $w$  dinyatakan sebagai

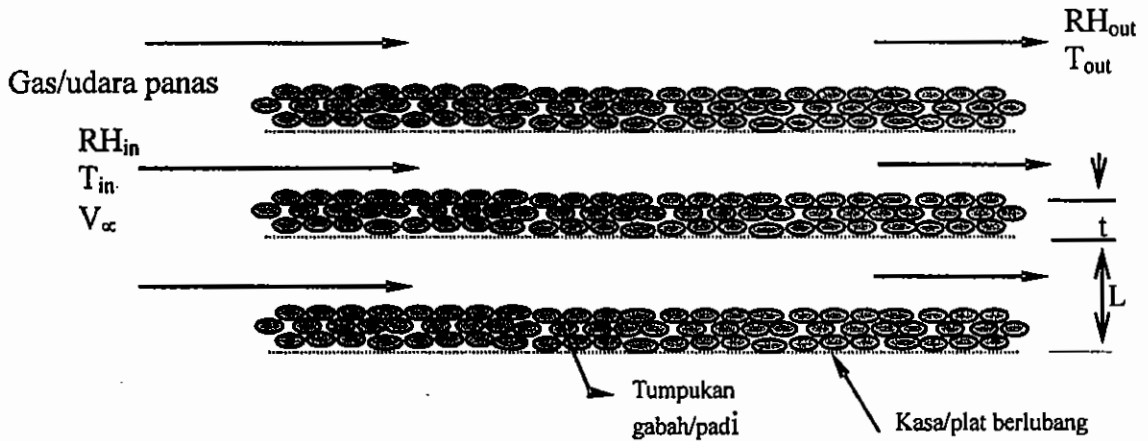
$$\frac{w - w_e}{w_o - w_e} = \exp\left(-\frac{h_i(t - t'_s)}{\rho_s d_o \lambda} \theta\right) \quad (7)$$

### CARA PENELITIAN

Eksperimen model pengeringan telah dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa, Jurusan Teknik Mesin FT-UGM, menggunakan fasilitas saluran udara seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fasilitas *Air Duct* sebagai fasilitas uji pengering gabah.



Gambar 4. Skema eksperimen karakterisasi pengeringan gabah/padi.

Tabel 1. Jenis-jenis percobaan yang dilakukan.

No.	Kode	Berat awal $m_a$ (gram)	Kecepatan $V$ (m/s)	Jumlah Layer	Waktu (menit)
1.	X-1	365	7,3	5	60
2.	Y-1	350	4,2	5	60
3.	Y-2	600	1,1	5	30
4.	Y-3	600	1,2	5	30
5.	Z-1	1600	1,0	5	30
6.	Z-2	1600	2,1	5	30
7.	Z-3	1600	3,1	5	30

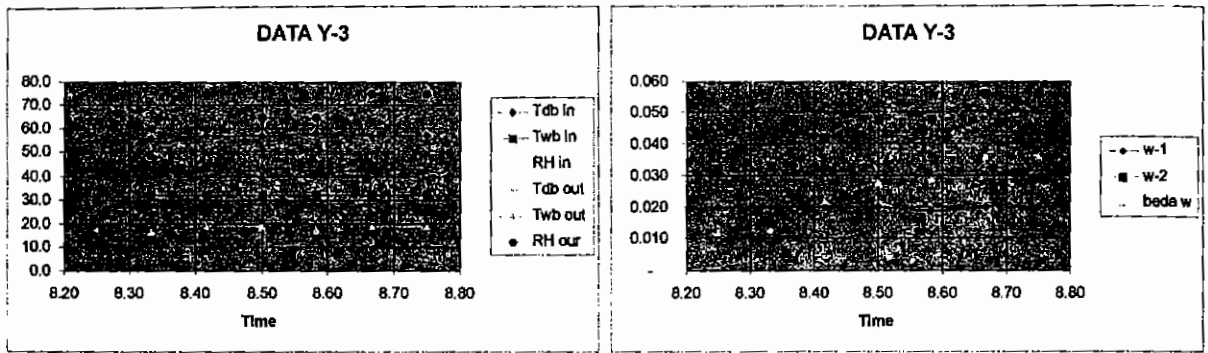
Fasilitas uji ini terdiri atas 1) saluran udara, luas penampang  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , terbuat dari papan flywood dilapisi dengan mika, 2) pemanas listrik, dengan daya yang bervariasi 0,5 kW, 1 kW dan 2 kW, 3) tabung Pitot, untuk mengukur kecepatan aliran udara, 4) seksi uji, bagian tempat berlangsungnya simulasi proses pengeringan, 5) termometer air raksa, mengukur temperatur bola basah dan temperatur bola kering, *wet and dry temperature*, 6) blower tipe Sirroco, dengan kapasitas aliran yang dapat diatur melalui pengaturan prosentase pembukaan katup, 7) motor listrik penggerak blower, dan 8) manometer.

Eksperimen karakterisasi pengeringan gabah dalam susunan rak, dengan prinsip kerja dasar seperti pada Gambar 4 ini, diperlukan untuk menentukan a) laju pengeringan, b) pengurangan kadar air tumpukan gabah dan c) monitoring perubahan temperatur udara selama pengeringan.

Beberapa parameter eksperimen yang dapat divariasi dalam pengujian ini adalah tebal lapisan gabah  $\sigma$ , jarak spasi antar rak  $d$ ,  $T_{in}$ ,  $T_{out}/T_{in}$ ,  $RH_{in}$  dan  $RH_{out}$ . Sedangkan jenis-jenis percobaan yang dilakukan ditampilkan dalam Tabel 1.

## HASIL PENELITIAN

Dalam seksi uji pengeringan gabah, dipasang 5 lapisan *tray* yang tersusun atas bawah. Beberapa macam berat awal dicoba untuk mendapatkan variasi ketebalan lapisan hamparan gabah  $s$ . Untuk memberikan variasi jarak antar lapisan sebenarnya diperlukan perubahan jumlah layer dalam seksi uji. Untuk sementara hal ini tidak dilakukan. Variasi kecepatan dilakukan dengan mengubah debit dari *induced-draft fan* jenis Siroco yang terpasang pada ujung terowongan angin.



Gambar 5 Proses pengeringan gabah dari data Y-3. a) Perubahan *dry bulb temperature* dan *wet bulb temperature* pada saat masuk  $T_{db-in}$ ,  $T_{wb-in}$  pada saat keluar  $T_{db-out}$ ,  $T_{wb-out}$  kelembaban udara masuk  $RH_{in}$  dan keluar  $RH_{out}$  terhadap waktu, dan b) perubahan *moisture content* udara masuk  $w_1$  dan keluar  $w_2$  terhadap waktu.

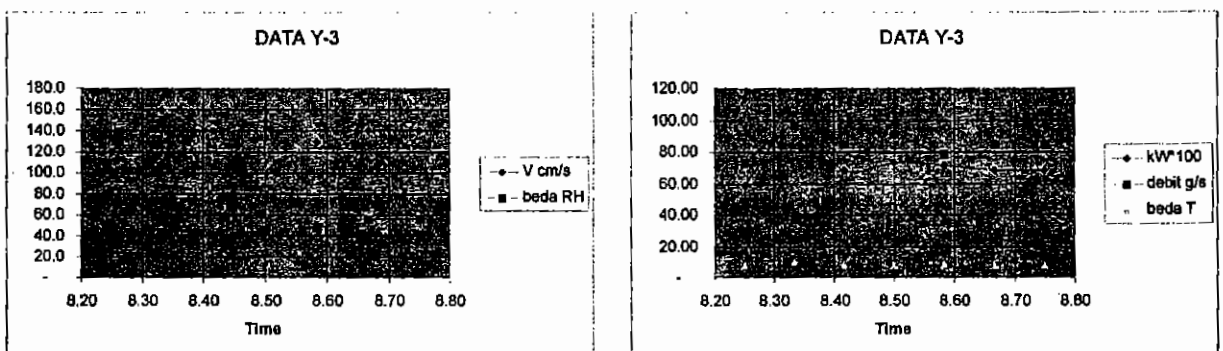
Salah satu hasil pengujian untuk sampel Y-3, dengan massa gabah rendah, ditampilkan pada Gambar 5a dan 5b serta Gambar 6a dan 6b. Tampak dalam gambar tersebut bahwa terjadi kenaikan kelembaban udara RH karena melintasi tumbukan gabah. Disitu terjadi pula kenaikan *moisture content*  $w$  dari udara. Perlu dicatat bahwa dalam kasus ini beda *moisture content* masuk dan keluar relatif linier terhadap waktu.

### PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian pengeringan gabah diperoleh data yang selanjutnya dapat dirangkum dan disimpulkan seperti disajikan pada Tabel 2 berikut.

Dengan membandingkan data pada Tabel 2 di atas dengan formulasi laju pengeringan a)  $dw/d\theta = \alpha(t - t')V^{3/4}/(\sigma d^{1/4})$  untuk aliran turbulen, b)  $dw/d\theta = \beta(t - t')/(\sigma d)$  untuk aliran laminar, c)  $-(1/w)dw/d\theta = \gamma = \text{konstan}$  untuk laju pengeringan melemah *liquid diffusion*, dan d)  $-(1/w)dw/d\theta = h(t - t')/[\rho_s d_0 \lambda (w_c - w_c)]$  untuk laju pengeringan melemah *capillary process*, nampak bahwa pada umumnya laju pengeringan  $dw/d\theta$  meningkat dengan bertambahnya kecepatan, beda temperatur dan tebal lapisan gabah.

Diperkirakan bahwa pengeringan gabah yang dilaksanakan sudah sampai pada proses laju pengeringan konstan dalam aliran turbulen. Beberapa penyimpangan kecil di atas diperkirakan akibat pengambilan data pengukuran berat yang kurang presisi.



Gambar 6. Proses pengeringan gabah dari data Y-3. a) Perubahan kecepatan aliran  $V$  dalam saluran pengeringan dan beda kelembaban (RH) terhadap waktu, dan b) perubahan daya diperlukan dalam kW, debit gas melalui penampang saluran (g/s) dan beda temperatur  $T$ , terhadap waktu.

Tabel 2 Rekapitulasi rerata data pengujian pengeringan gabah pada pengujian dengan 5 layer menggunakan sumber panas sama.

Kode	Berat Awal $M_1$ (gram)	Laju Pengeringan $-dw/d\theta$	Prosen Laju Pengeringan $-(1/w)dw/d\theta$	Kecepatan $V$ (m/s)	Beda T	Daya Diperlukan $W/100$
X-1	365	21.5	0.059	7.3	7	0.8
Y-1	350	7.5	0.021	4.2	9	4.1
Y-2	600	50.0	0.083	1.1	2	0.0
Y-3	600	60.0	0.100	1.2	8	0.7
Z-1	1600	52.0	0.033	1.0	21	0.6
Z-2	1600	56.0	0.035	2.1	14	0.6
Z-3	1600	62.0	0.039	3.1	15	0.7

Dengan membandingkan data pada Tabel 2 di atas dengan formulasi laju pengeringan a)  $dw/d\theta = \alpha(t - t'_s)V^{3/4}/(\sigma d^{1/4})$  untuk aliran turbulen, b)  $dw/d\theta = \beta(t - t'_s)/(\sigma d)$  untuk aliran laminar, c)  $-(1/w)dw/d\theta = \gamma = \text{konstan}$  untuk laju pengeringan melemah *liquid diffusion*, dan d)  $-(1/w)dw/d\theta = h_s(t - t'_s)/[\rho_s d_0 \lambda (w_c - w_s)]$  untuk laju pengeringan melemah *capillary process*, nampak bahwa pada umumnya laju pengeringan  $dw/d\theta$  meningkat dengan bertambahnya kecepatan, beda temperatur dan tebal lapisan gabah.

Diperkirakan bahwa pengeringan gabah yang dilaksanakan sudah sampai pada proses laju pengeringan konstan dalam aliran turbulen. Beberapa penyimpangan kecil di atas diperkirakan akibat pengambilan data pengukuran berat yang kurang presisi.

### KESIMPULAN

Dari pemodelan pengeringan gabah dengan memanfaatkan konveksi paksa dapat disimpulkan bahwa laju pengeringan kandungan uap air dalam gabah dipengaruhi oleh kecepatan aliran, beda temperatur dan tebal lapisan. Persamaan laju pengeringan telah diturunkan yang dipengaruhi oleh variabel di atas, juga dipengaruhi oleh jarak antar lapisan gabah. Diduga proses pengeringan ini terjadi dengan laju pengeringan konstan dengan aliran turbulen. Sedangkan dari pengamatan eksperimen pengeringan gabah dengan pemanas listrik dapat disimpulkan bahwa laju pengeringan gabah  $dw/d\theta$  meningkat dengan bertambahnya kecepatan, beda temperatur dan tebal lapisan gabah. Diperkirakan

bahwa pengeringan gabah yang dilaksanakan sudah sampai pada proses laju pengeringan konstan dalam aliran turbulen.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima disampaikan kepada Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Bersaing IX tahun anggaran 2002, dan semua teknisi Laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa Jurusan Teknik Mesin atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

### DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

- RH : kelembaban relatif (%)  
 T : temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\sigma$  : tebal lapisan gabah (m)  
 w : *moisture content* (kg/kg)  
 $\theta$  : waktu (s)  
 d : jarak vertikal antar lapisan (m)  
 h : koefisien perpindahan panas total ( $\text{W/m}^2 \text{C}$ )  
 $R_e$  : bilangan Reynolds  
 $Nu$  : bilangan Nusselt  
 k : angka konduktivitas ( $\text{W/m C}$ )  
 $\lambda$  : panas laten penguapan ( $\text{J/kg}$ )  
 $\nu$  : viskositas kinematis ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $\rho$  : rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ )  
 t : temperatur *dry bulb* ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $t'_s$  : temperatur *wet bulb* ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 V : kecepatan (m/s)

## DAFTAR PUSTAKA

1. Araullo, E.V., De-Padua, D.B. dan Graham, M., 1976, *"Rice Postharvest Technology"*, Intern. Dev. Res. Center, Ottawa, Canada.
2. Kunze, O.R. dan Calderwood, D.L., 1994, Rough Rice Drying. Juliano, B.O (Ed.), *"Rice: Chemistry & Technology"*, p. 233. The American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota.
3. Lydersen, A.L., 1983, *Mass Transfer in Engineering Practice*, John Willey & Sons, New Delhi.
4. Porter, H.F., Schurr, G.A., Wells, D.F. dan Semrau, K.T., 1992, Solids Drying and Gas-Solid Systems, R.H. Perry (Ed.), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, pp. 20/9-11, McGraw-Hill, New York.
5. Sutrisno, Suhanan, Umar Santoso, 2002. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing IX/2 Perguruan Tinggi tahun anggaran 2002*. Oktober 2002.